



HIGH-POWER OPTICAL FIBER AMPLIFIER PUMPED WITH MULTIMODE LASER SOURCE

Patent number: RU2142184
Publication date: 1999-11-27
Inventor: GAPONTSEV V P [RU]; SAMARTSEV I EH [RU]
Applicant: ITALTEL SPA [IT]; IREH POLJUS KO [RU]
Classification:
- international: H01S3/06
- european: H01S3/094A
Application number: RU19960108614 19931013
Priority number(s): WO1993IT00107 19931013

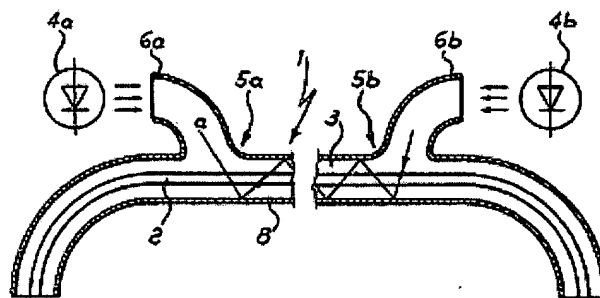
Also published as:

 WO9510868 (A1)
 EP0723714 (A1)

Abstract of RU2142184

FIELD: optical fiber laser amplifiers.

SUBSTANCE: amplifier is made of fiber 1 with two concentric cores 2 and 3; inner core 2 is amplifying medium and core 3 is used for pumping. Pumping radiation is transmitted from multimode source 4 and coupled crosswise relative to optical axis of fiber 1 with outer core 2 through multimode fiber 6 and multimode coupler 5. Pumping radiation is propagated over outer core 3 and is coupled with amplifying core 2 thereby pumping active medium. Composition of amplifying material is chosen so as to provide for pumping within comprehensive range of wavelengths. Both coherent and incoherent pumping sources may be used. **EFFECT:** improved power of optical fiber laser amplifier. 8 cl, 2 dwg



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 142 184⁽¹³⁾ C1
(51) МПК⁶ H 01 S 3/06

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

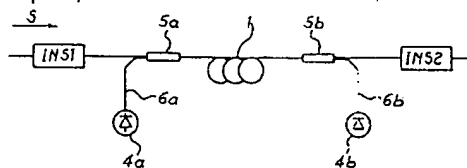
(21), (22) Заявка: 96108614/28, 13.10.1993
(24) Дата начала действия патента: 13.10.1993
(46) Дата публикации: 27.11.1999
(56) Ссылки: EP 0320990 A2, 21.06.89. US 5170458 A, 08.12.92. J.D. Minelly et al. Diode - array pumping of Er 3 + / Yb 3 + co - doped fiber lasers and amplifiers. В : IEEE Photonics Technology Letters. vol.5, N 3, March, 1993, New - York, US, p.301-303. SU 1804674 A3, 23.03.97. US 5155621 A, 13.10.92. WO 91/10272 A1, 11.07.91. EP 0470497 A2, 12.02.92.
(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу: 13.05.96
(86) Заявка РСТ: IT 93/00107 (13.10.93)
(87) Публикация РСТ: WO 95/10868 (20.04.95)
(98) Адрес для переписки: 121248, Москва, а/я 70, патентному поверенному, Кобре Н.В.

(71) Заявитель: Италтел С.п.А. (ИТ), ИРЭ - Полюс Ко. (РУ)
(72) Изобретатель: Гапонцев В.П.(РУ), Самарцев И.Э.(РУ)
(73) Патентообладатель: Италтел С.п.А. (ИТ), ИРЭ - Полюс Ко. (РУ)

(54) ОПТИЧЕСКИЙ ВОЛОКОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ С НАКАЧКОЙ МНОГОМОДОВЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИСТОЧНИКОМ

(57) Реферат:
Оптический волоконный усилитель выполнен из волокна (1) с двумя концентрическими сердцевинами (2 и 3), внутренняя из которых является усиливающей средой, а другая (3) используется для накачки. Излучение накачки передается от многомодового источника (4), связывается поперечно относительно оптической оси волокна (1) с внешней сердцевиной (3) через многомодовое волокно (6) и многомодовый оптический каплер (5). Излучение накачки распространяется по внешней сердцевине (3) и связано с усиливающей сердцевинкой (2), накачивая

таким образом активную среду. Состав усиливающего материала выбран таким способом, чтобы накачка была возможна в широком диапазоне длин волн. Могут использоваться как когерентные, так и некогерентные источники накачки. 7 з. п.ф-лы, 2 ил.



Фиг.1

RU 2 142 184 C1

RU 2 142 184 C1



(19) **RU** (11) **2 142 184** (13) **C1**
 (51) Int. Cl.⁶ **H 01 S 3/06**

RUSSIAN AGENCY
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 96108614/28, 13.10.1993
 (24) Effective date for property rights: 13.10.1993
 (46) Date of publication: 27.11.1999
 (85) Commencement of national phase: 13.05.96
 (86) PCT application:
 IT 93/00107 (13.10.93)
 (87) PCT publication:
 WO 95/10868 (20.04.95)
 (98) Mail address:
 121248, Moskva, a/ja 70, patentnomu
 poverennomu, Kobre N.V.

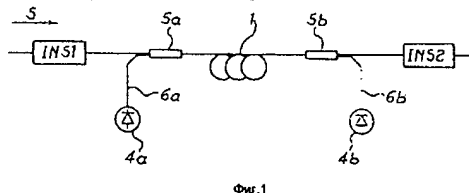
(71) Applicant:
 Italtel S.p.A. (IT),
 IREh - Poljus Ko. (RU)
 (72) Inventor: Gapontsev V.P.(RU),
 Samartsev I.Eh.(RU)
 (73) Proprietor:
 Italtel S.p.A. (IT),
 IREh - Poljus Ko. (RU)

(54) HIGH-POWER OPTICAL FIBER AMPLIFIER PUMPED WITH MULTIMODE LASER SOURCE

(57) Abstract:

FIELD: optical fiber laser amplifiers.
 SUBSTANCE: amplifier is made of fiber 1 with two concentric cores 2 and 3; inner core 2 is amplifying medium and core 3 is used for pumping. Pumping radiation is transmitted from multimode source 4 and coupled crosswise relative to optical axis of fiber 1 with outer core 2 through multimode fiber 6 and multimode coupler 5. Pumping radiation is propagated over outer core 3 and is coupled with amplifying core 2 thereby pumping active medium. Composition of amplifying material is chosen so as to

provide for pumping within comprehensive range of wavelengths. Both coherent and incoherent pumping sources may be used. EFFECT: improved power of optical fiber laser amplifier. 8 cl, 2 dwg



RU 2 142 184 C1

RU 2 142 184 C1

Область техники
Изобретение относится к улучшенному оптическому волоконному усилителю высокой мощности, накачиваемому многомодовым лазерным диодным источником.

Оптический волоконный усилитель для телекоммуникаций выполнен из одномодового оптического волокна, жила которого активирована редкоземельными элементами, например эрбием. Введенная в волокно мощность накачки обеспечивает усиление в активной среде для распространения информационного сигнала вдоль волокна.

Предыстория вопроса

В настоящее время для возбуждения оптических волоконных усилителей используются одномодовые лазерные диоды с длинами волн излучения 980 нм и 1480 нм, которые непосредственно связаны с одномодовым волокном и, посредством одномодового мультиплексора, с центральной жилой активного волокна.

Использование одномодовых волокон и узкий спектральный диапазон излучения источника накачки предъявляют повышенные требования к технологии упаковки диодов, селекции диодов по длине волны и точности стабилизации их температуры, которая может быть достигнута путем использования энергоемких холодильников Пельтье.

Такие важные характеристики волоконнооптических усилителей, как усиление и мощность насыщения, зависят от интенсивности накачки. В настоящее время мощность одномодовых пигтейлированных лазерных диодов, излучающих на длине волны, подходящей для накачки эрбия, не превышает 100 мВт, и излучение накачки вводится непосредственно в жилу волокна через одномодовые элементы связи. Это ограничивает максимальную выходную мощность, снимаемую с одного усилителя, величиной около 50 мВт и максимальное усиление - уровнем около 35 дБ.

Накачка непосредственно в жилу активного волокна приводит к распространению излучения накачки совместно с усиливаемым оптическим сигналом. Поэтому на выходе усилителя требуется устанавливать спектральный фильтр для того, чтобы устранить проникновение остаточного излучения накачки в передающую линию. Для решения этой проблемы были разработаны схемы накачки, препятствующие распространению сигнала, но такие конфигурации увеличивают шум, генерируемый спонтанной эмиссией, или фактор шума усилителя.

Далее, одномодовая накачка приводит к не плоскому поперечнику усиления активной среды, для устранения чего приходится существенно уменьшать диаметр жилы и увеличивать ее численную апертуру для того, чтобы избежать поглощения сигнала на периферии жилы.

Таким образом, создание дешевых волоконно-оптических усилителей с высокой выходной мощностью, высоким усилением и низким уровнем шума лимитируется доступностью и стоимостью подходящих источников накачки, излучение которых должно вводиться в одномодовую жилу волокна.

Кроме того, одномодовая накачка одномодовым элементом связи может

приводить к поляризации зависимости и к другим потерям вследствие изменения формы волоконной сердцевинки внутри элемента связи.

5 Патент Кафки US-A-4829529 заявляет использование волокна с двойной оболочкой для накачки внутренней одномодовой жилы, легированной редкоземельными элементами, такими как неодим или эрбий, для того чтобы 10 получить лазерную генерацию. Этот патент демонстрирует лазерную структуру с двойной оболочкой, однако не сообщает об одновременном легировании различными редкоземельными элементами и не 15 предлагает такое устройство как подходящее для изготовления волоконно-оптического усилителя. Далее, ввод излучения накачки в этом патенте не предполагается осуществлять через торцы световода с использованием объемных оптических 20 элементов.

Из работы Минели и др. известно об усилителе на волоконном световоде с 25 двойной оболочкой, легированном иттербием и эрбием, однако накачки осуществлялись через торцы объемными оптическими элементами. Кроме того, в обеих работах источниками накачки являлись диодные линейки.

Патент AU-A-10374/92 описывает оптический волоконный усилитель, состоящий из отрезка легированного эрбием оптического 30 волокна, одномодового волоконного элемента связи для ввода излучения накачки и легированного иттербием волокна, сваренного с выходным торцом усиливающего светодиода для поглощения остаточного излучения накачки.

Патент DE-OS 4005867 описывает оптический волоконный усилитель, состоящий 35 из отрезка легированного редкоземельными оптического волокна, входной и выходной торцы которого связаны с источником накачки для получения высокого усиления входного сигнала.

Патент EP-A-0509577 описывает 40 двухкаскадный волоконный усилитель, каждый каскад которого состоит из отрезка активного световода, легированного флюоресцирующим элементом, из элемента связи для ввода излучения от лазерного 45 диода и пары оптических изоляторов.

Известен также оптический волоконный усилитель, содержащий отрезок волокна с 50 двойной оболочкой с легированной иттербием-эрбием одномодовой жилой усиливающего материала, многомодовую жилу, окружающую упомянутую одномодовую жилу, и оболочку, окружающую упомянутую многомодовую жилу, по крайней мере один отрезок многомодового оптического волокна для передачи излучения лазера накачки, по 55 крайней мере один источник накачки, связанный с упомянутым отрезком многомодового оптического волокна, и по крайней мере один элемент связи, сформированный на упомянутом отрезке 60 волокна с двойной оболочкой непосредственно на упомянутом волокне с двойной оболочкой для боковой накачки упомянутого отрезка волокна с двойной оболочкой (см. заявку EP 0320990, N 01 S 3/06, 1989). Волокна имеют прямоугольное сечение, а элемент связи оптического волокна для передачи энергии накачки в волокно с

двойной оболочкой образован с помощью клея или смолы. В этом жила усиливающего материала помещена от центра оболочки.

Практически этот усилитель может быть использован только тогда, когда применяются волокна с необычными прямоугольными или эллиптическими сечениями. Кроме того, применение клея или смол для изготовления устройства серьезно ограничивает предельные мощности, которые могут быть переданы через это устройство, поскольку такие органические материалы весьма чувствительны к оптическому излучению, в результате при превышении некоторых предельных значений мощности происходит нагревание и старение элемента связи вплоть до его разрушения.

Настоящее изобретение направлено на преодоление вышеупомянутых ограничений и недостатков.

Первой задачей настоящего изобретения является предложить волоконно-оптический усилитель с высоким усилением и большой выходной мощностью.

Второй задачей изобретения является предложить волоконно-оптический усилитель, который эффективно подавляет мощность излучения накачки на выходе усиливающего волокна.

Третьей задачей изобретения является предложить волоконно-оптический усилитель с однородным профилем усиления поперек сердцевины активного волокна.

Дальнейшей задачей настоящего изобретения является предложить волоконно-оптический усилитель, делающий возможным использование источников накачки, излучающих в широком диапазоне длин и не требующих термостабилизации.

Описание изобретения

Соответственно эти и другие задачи реализованы тем, что известный оптический волоконный усилитель, содержащий отрезок волокна с двойной оболочкой с легированной эрбием-иттербием одномодовую жилу усиливающего материала; многомодовую жилу, окружающую упомянутую одномодовую жилу, и оболочку, окружающую упомянутую многомодовую жилу, по крайней мере один отрезок многомодового оптического волокна для передачи излучения лазера накачки, по крайней мере один источник накачки, связанный с упомянутым отрезком многомодового оптического волокна, и по крайней мере один элемент связи, сформированный на упомянутом отрезке волокна с двойной оболочкой непосредственно на упомянутом волокне с двойной оболочкой для боковой накачки упомянутого отрезка волокна с двойной оболочкой, отличается тем, что упомянутая многомодовая жила имеет цилиндрическую форму и концентрична упомянутой одномодовой жиле и что упомянутый элемент связи образован скрученными вместе и вытянутыми при нагревании упомянутыми отрезками волокна с двойной оболочкой и многомодового волокна.

Предпочтительно оптический волоконный усилитель содержит два многомодовых диодных источника и два многомодовых оптических волоконных элемента связи.

Излучение накачки может быть когерентным или некогерентным.

В качестве источника накачки целесообразно использовать сверхлюминесцентный диод.

Предпочтительно диаметры многомодовой жилы и одномодовой усиливающей жилы находятся в соотношении от 5:1 до 20:1, а длина оптического волокна находится в пределах от 2 до 20 м.

При этом упомянутый многомодовый оптический элемент связи может быть несимметричным.

Согласно изобретению:

- первая задача достигается путем использования указанного многомодового лазерного диодного источника, обеспечивающего многомодовое излучение накачки высокой мощности,

- вторая и третья задачи достигаются путем использования указанной накачки наклонно к направлению прохождения информационного сигнала и многократного неаксиального прохождения излучения накачки по отношению к аксиальному прохождению информационного сигнала, распространяющегося вдоль указанного отрезка оптического волокна. Благодаря указанному неаксиальному прохождению излучение накачки не складывается с информационным сигналом, и дополнительные поглощающие средства не являются необходимыми,

- четвертая задача достигается путем использования указанной внутренней жилы из иттербий-эрбиевого активного материала благодаря широкой полосе поглощения указанного материала.

Дополнительные преимущества настоящего изобретения будут более понятны из дополнительных пунктов формулы, предлагающих, в частности, использование многомодовых элементов связи для высокоэффективного ввода многомодового излучения накачки в активное волокно для реализации вышеуказанной поперечной накачки. Дополнительно для увеличения мощности накачки используются по меньшей мере два многомодовых элемента связи и два многомодовых диодных источника.

Дальнейшие особенности и достоинства волоконно-оптического усилителя согласно изобретению станут более ясными из нижеследующего детального описания предпочтительных вариантов реализации прибора, иллюстрируемого прилагаемыми рисунками (только как ограниченные примеры), в которых:

фиг. 1 является оптической схемой волоконно-оптического усилителя согласно изобретению, и

фиг. 2 является боковым сечением, схематически иллюстрирующим активное волокно и элемент связи к источнику накачки.

Как видно из фигур, усилитель согласно изобретению содержит отрезок оптического волокна 1, изготовленный с двумя концентрическими жилами 2 и 3. Как видно, в частности, из фиг. 1, предполагается, что несущий информацию оптический сигнал распространяется вдоль волокна в направлении, указанном стрелкой S.

Внутренняя жила 2 является одномодовой жилой, аналогичной по размеру стандартным коммуникационным оптическим волокнам, и эта жила легирована одновременно иттербием и эрбием, т.е. ко-легирована

Уб/Ег. Таким образом, активный материал внутренней жилы 2 излучает широким спектром поглощения, что подходит для создания усиления в спектральном диапазоне оптической связи.

Более подробно, ко-легирование иттербием и эрбием жилы открывают возможность накачки в широком спектральном интервале, между 900 нм и 1000 нм, в результате чего внутри этого диапазона не требуется селекции источников накачки по длине волны и их точной температурной стабилизации.

Окружающая оболочка 3 является многомодовой жилой, используемой для накачки путем ввода излучения накачки от лазерного диода 4а через многомодовое волокно 6а и многомодовый элемент связи 5а. Внешняя оболочка 8 окружает многомодовую жилу 3.

Излучение накачки из источника накачки инжектируется наклонно по отношению к оптической оси вышеуказанного отрезка волокна 1 через многомодовые элементы связи - последние, согласно предпочтительному варианту изобретения, являются асимметричного типа - и посредством многократных отражений (как схематически показано для луча а на фиг. 2) проникают внутрь внутренней жилы 2 и поглощаются там без наложения на оптический сигнал, который должен быть усилен.

Многомодовый элемент связи может быть образован, например, отрезком многомодового волокна и отрезком волокна с двойной оболочкой. Согласно предпочтительному варианту изобретения многомодовый элемент связи образован непосредственно в активном волокне путем скручивания и существенного растягивания двух волокон при нагревании.

На диаграмме фиг. 1 дополнительный лазерный диод 4b подсоединен к активному волокну 1 через многомодовое волокно 6b и второй многомодовый элемент связи 5b для достижения более однородного распределения мощности накачки вдоль усиливающего волокна, что в свою очередь приводит к улучшению усиливающих характеристик.

Дополнительно, изоляторы 1NS1 и 1NS2 могут быть установлены вдоль волокна 1.

Благодаря тому что излучение накачки не распространяется вдоль усиливающей жилы 2 по направлению сигнала, выходной фильтр не требуется. Профиль усиления по сечению активной жилы является однородным, что позволяет согласовать ее размеры с размерами стандартного одномодового телекоммуникационного волокна. Внешняя оболочка обеспечивает световедущие свойства для излучения накачки. Использование многомодовых волокон делает доступными намного большие мощности накачки, а двухоболочечная схема волокна совместно с вышеуказанной поперечной накачкой делает возможным совмещение нескольких источников накачки с одномодовым активным волокном. Поэтому становятся доступными высокое усиление и большая выходная мощность.

Согласно предпочтительному варианту каждый источник накачки является многомодовым лазерным диодом и излучение

накачки является некогерентным излучением. Альтернативно излучение накачки может быть некогерентным излучением, например, генерируемым сверхлюминесцентными диодами.

Одномодовое усиливающее волокно 1 предпочтительно выполняется из стекла, активированного иттербием и эрбием.

Что касается предпочтительных размеров, диаметры многомодовой жилы накачки и одномодовой усиливающей жилы имеют отношение приблизительно 10:1 к длине, а длина оптического волокна 1 составляет от 2 до 20 м.

Наилучший вариант реализации изобретения

Наилучший вариант реализации изобретения показан на фиг. 2 и включает два многомодовых элемента связи 6а и 6b для получения высокой выходной мощности и благодаря поперечной накачке излучение накачки не накладывается на усиливаемый оптический сигнал и, следовательно, не требуется никаких фильтров для того, чтобы предотвратить проникновение излучения накачки на выход усилителя.

Промышленное применение

Волоконно-оптический усилитель высокой мощности может найти применения в системах оптической связи, в частности, в линиях дальней связи и в волоконных сетях.

Формула изобретения:

1. Оптический волоконный усилитель, содержащий отрезок волокна с двойной оболочкой с легированной эрбием-иттербием одномодовой усиливающей жилой, многомодовую жилу, окружающую упомянутую одномодовую усиливающую жилу, и оболочку, окружающую упомянутую многомодовую жилу, по крайней мере один отрезок многомодового оптического волокна для передачи излучения накачки, по крайней мере один источник накачки, связанный с упомянутым отрезком многомодового оптического волокна, и по крайней мере один элемент связи, сформированный непосредственно на упомянутом отрезке волокна с двойной оболочкой для боковой накачки этого отрезка, отличающийся тем, что упомянутая многомодовая жила имеет цилиндрическую форму и концентрична упомянутой одномодовой усиливающей жиле и что упомянутый элемент связи образован скрученный вместе и вытянутыми при нагревании упомянутыми отрезками волокна с двойной оболочкой и многомодового волокна.

2. Оптический волоконный усилитель по п.1, отличающийся тем, что содержит два многомодовых диодных источника и два элемента связи.

3. Оптический волоконный усилитель по пп.1 и 2, отличающийся тем, что упомянутое излучение накачки является когерентным.

4. Оптический волоконный усилитель по пп.1 и 2, отличающийся тем, что упомянутое излучение накачки является некогерентным.

5. Оптический волоконный усилитель по пп.1,2,4, отличающийся тем, что упомянутый источник накачки является сверхлюминесцентным диодом.

6. Оптический волоконный усилитель по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что диаметры многомодовой жилы и одномодовой усиливающей жилы находятся в соотношении